

## Características geológicas, oceanográficas y bentónicas del volcán de fango Gazul en el talud medio del Golfo de Cádiz

### *Geomorphological, oceanographical and benthic characteristics of Gazul mud volcano in the Spanish Middle Slope of the Gulf of Cádiz*

D. Palomino (1), N. López-González (1), J.T. Vázquez (1), L.M. Fernández-Salas (2), J.L. Rueda (1), E. González-García (3), R. Sánchez-Leal (2) & V. Díaz-del-Río (1)

- (1) Instituto Español de Oceanografía, CO de Málaga, C/Puerto Pesquero S/N, 29640 Fuengirola.  
E-mail: desiree.palomino@ma.ieo.es
- (2) Instituto Español de Oceanografía, CO de Cádiz. Muelle Pesquero S/N, 11006 Cádiz.
- (3) Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos S/N, 29071 Málaga.

**Abstract:** The seabed morphology and the sub-bottom characteristics of a sector of the Gulf of Cádiz continental slope have been analyzed from different data sets. The morphological characteristics, the type of sediments and dominant benthic species of Gazul mud volcano and adjacent areas have been studied. The morphological characteristics identified were grouped in fluid escape related features, bottom current features, mass movement features, structural features and biogenic related features. Additionally, dominant benthic species associated to fluid escape and seepage, hard substrates or soft bottoms have also been indicated in these features. A bottom current velocity analysis allowed relating the morphological features with the different sedimentary and oceanographic processes as well as the benthic habitats and that currently occur in the mud volcano and nearby areas. The major factor controlling these features and their associated benthic habitats is the interaction of deep water masses with the seafloor topography. At high velocities, authigenic carbonates can be exhumed and colonized by sessile suspensivorous species associated with hard substrates such as cold-water corals, anthipatarians and large sponges. Mounds and diapiric ridges are found on the depressions and they could be relict structures. Living corals have been found on raised zones, revealing different oceanographic condition and strong enough currents to favour the availability of nutrients and organic particles. Chemosymbiotic organisms are very scarce at the summit and old remains of *Lucinoma asapheus* indicating past higher seepage activity.

**Key words:** Seepage, mud volcano, benthic habitats, bottom currents, Gulf of Cádiz

## 1. INTRODUCCIÓN

Los volcanes de fango (VF) son estructuras muy comunes en el talud del Golfo de Cádiz (GdC) que se forman por la migración vertical de sedimentos fangosos y fluidos que son expulsados por sucesivas emisiones (Milkov, 2000). Durante las últimas décadas se han realizado numerosos estudios en el GdC tanto en el margen ibérico como en el marroquí, centrados en la migración y emisión de fluidos en los VF, y estudios puntuales sobre la fauna bentónica asociada a dichas emisiones. El sistema deposicional contornítico que se forma como consecuencia de la interacción del Agua de Salida Mediterránea (MOW) con el margen y el desarrollo de corales de aguas frías (CAF) relacionados con estos depósitos ha sido objeto también de numerosos estudios (p.ej. Díaz del Río *et al*, 2014). Menos atención se ha prestado a la relación entre los VF con los procesos geológicos y oceanográficos y con las comunidades bentónicas y

los hábitats que se desarrollan como consecuencia de su interacción (Fernández-Salas *et al.*, 2012). Los VF interfieren con las masas de agua, cambiando su trayectoria y velocidad, afectando también a los procesos sedimentarios en sus inmediaciones (Davies & Loughton, 1972). Esta situación provoca un patrón de circulación local que favorece la presencia de diferentes hábitats y puede promover una gran biodiversidad. Los cambios en las condiciones oceanográficas pueden dar lugar a modificaciones en la morfología del fondo y en los hábitats. Existe una fuerte relación entre las comunidades bentónicas, las masas de agua del fondo, el tipo de sustrato y los procesos geológicos regionales (Van Rooij *et al*, 2010). El objetivo de este trabajo es el estudio de la morfología del fondo y de las características sub-superficiales del VF Gazul para entender la interacción del edificio con las masas de agua y los procesos geológicos recientes, así como su influencia sobre la biodiversidad.

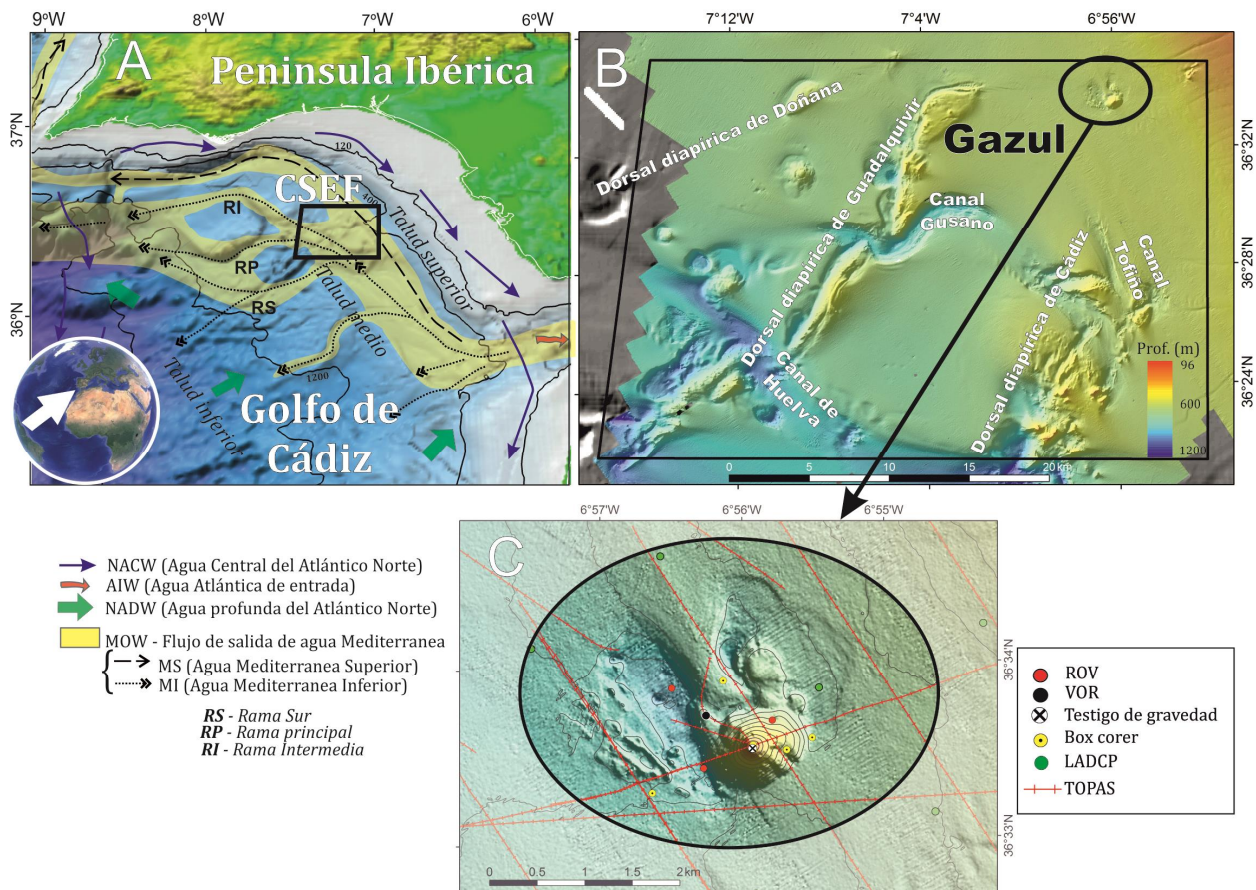


Fig. 1. a) Situación del CSEF en el Talud continental del GdC donde se muestran las principales masas de agua, (b) modelo digital del terreno de la zona del CSEF donde se localiza el VF Gazul, (c) detalle batimétrico del VF Gazul con la localización de los muestreos realizados durante las campañas oceanográficas.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos analizados han sido obtenidos en el marco del proyecto LIFE+INDEMARES/CHICA en el área conocida como Campo Somero de Expulsión de Fluidos (CSEF) (Fig. 1). Se han utilizado datos batimétricos y de reflectividad que han sido procesados con el software *Caris Hips and Sips* para crear modelos batimétricos a una resolución de 15 m. Para el análisis morfológico se ha utilizado el software *ArcGIS desktop*. Se han utilizado perfiles sísmicos de muy alta resolución obtenidos con la sonda paramétrica TOPAS-PS18 que se convirtieron e importaron en formato SEG-Y y han sido interpretados mediante el programa *IHS Kingdom*. Las muestras de box-corer se han analizado para caracterizar la textura del sedimento y la composición faunística. El testigo de gravedad obtenido en la cima ha servido para confirmar su naturaleza de VF. Los videos e imágenes obtenidos con ROV (*Remotely Operated Vehicle*) y VOR (*Vehículo de Observación Remolcado*) se han utilizado para identificar los hábitats y su biota asociada. Las medidas de la velocidad de la corriente en el fondo se han obtenido con LADCP (*Lowered Acoustic Doppler Current Profiler*).

## 3. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS Y OCEANOGRÁFICAS.

El CSEF se localiza entre 300 y 730 m de profundidad y se caracteriza por la presencia de dorsales diapíricas y canales contorníticos (Fig. 1b). Los principales relieves se sitúan sobre depósitos contorníticos relictos que se encuentran afectados por procesos tectónicos y diapirismo que favorecen el desarrollo de estructuras como los VF.

La circulación oceanográfica en el GdC está controlada por el intercambio de masas de agua a través del Estrecho de Gibraltar, con un flujo de agua Atlántica de entrada (AIW) hacia el mar de Alborán y un flujo de agua Mediterránea de salida (MOW) hacia el Océano Atlántico. La MOW barre el margen ibérico hacia el noroeste y se divide en dos núcleos principales (superior, MS, e inferior, MI). El área de estudio se encuentra bajo la influencia del Agua Central del Atlántico Norte (NACW) y la rama MS de la MOW (Fig. 1a). Cerca del Estrecho de Gibraltar, Sánchez and Relvas (2003) adoptaron 400m como el nivel de referencia para la interfase entre la NACW y la MOW, aunque en el área de estudio ha sido situada entre 450-500 m (Fernández-Salas *et al.*, 2012). Las corrientes de fondo alcanzan la máxima velocidad

(0,3-0,5 m·s<sup>-1</sup>) en los canales contorníticos, frente a las velocidades mínimas que se observan en la zona entre las dorsales diapíricas (Díaz del Río *et al.*, 2014).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Geomorfología

El VF Gazul se localiza al NO del CSEF y al N de la Dorsal Diapírica de Cádiz (Fig. 1). La cima se encuentra a 363 m de profundidad y la altura máxima del edificio son 107 m. El edificio presenta una base subcircular y un perfil batimétrico asimétrico, dando lugar a que sus flancos NE y SO tengan diferente longitud. La altura máxima del edificio sobre el fondo adyacente es 107 m. Este VF muestra hacia el NO dos espolones (Fig. 2), que se prolongan con una dirección NO-SE y se han interpretado como afloramientos de material fangoso que se encuentran rodeados por dos extensas depresiones. Estos afloramientos tienen 40 y 22 m de altura y presentan unos valores de reflectividad altos (-22 a -25 dB). Ambas depresiones se localizan al N y NO del volcán, con una profundidad de 15 y 20 m y una longitud de 2.1 y 2.3 km, respectivamente. Al oeste de la depresión localizada al oeste, se han detectado una serie de elevaciones a profundidades entre 460 y 480 m, con una anchura media de unos 55 m (Fig. 2). Estas elevaciones pueden presentarse como montículos aislados, con formas elongadas o redondeadas, o pueden encontrarse agrupados dando lugar a crestas o dorsales que pueden alcanzar 650 m de longitud con una dirección principal NO-SE y con valores de reflectividad mayores a los observados en zonas adyacentes (Fig. 2b). Esta zona de dorsales y montículos presenta, en los perfiles sísmicos de muy alta resolución, un reflector de alta amplitud en la superficie que se encuentra

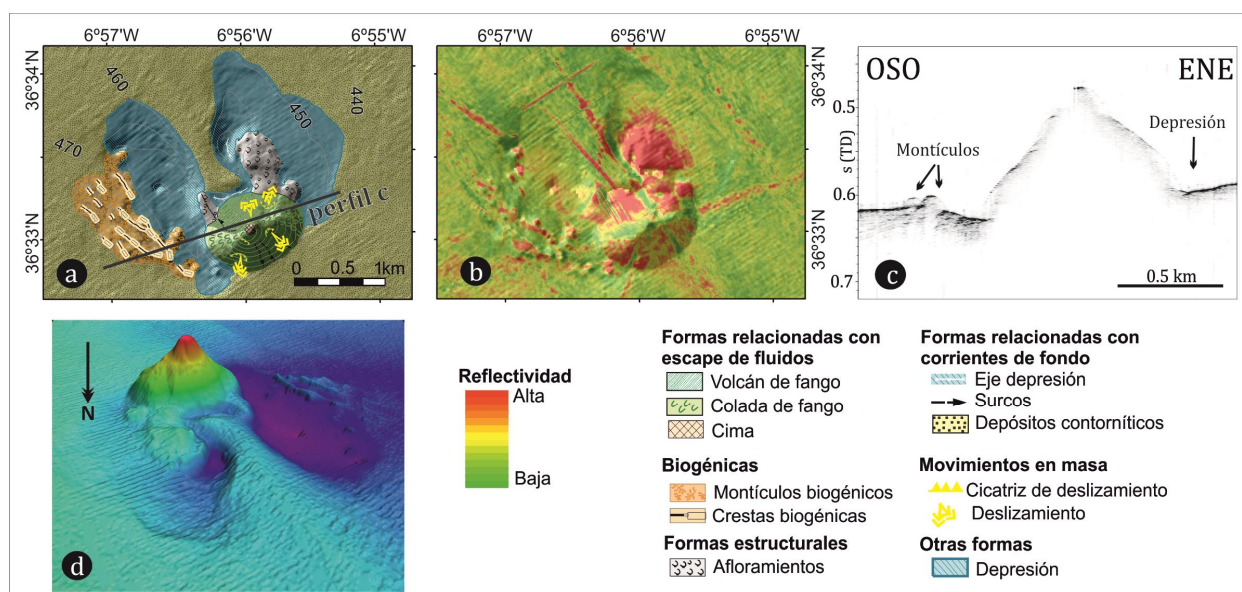
interrumpido por difracciones que corresponden a los montículos (Fig. 2c). No se ha podido diferenciar una estructura interna, aunque los reflectores paralelos aparecen truncados contra los montículos. Las muestras de sedimentos obtenidas en la zona de los montículos indican que los altos valores de reflectividad se corresponden con carbonatos autigénicos colonizados por organismos sésiles.

### 4.2 Facies sedimentarias

El testigo de gravedad, de 42 cm de longitud, recuperado en la cima del volcán (Fig. 1c) presenta dos facies claramente diferenciadas. El techo está compuesto por una capa milimétrica de sedimentos fangosos de tipo hemipelágico en contacto neto con facies de brecha fangosa de color gris-verdoso con abundantes clastos. En general, los sedimentos de la cima contienen grandes cantidades de bioclastos y carbonatos autigénicos. En las muestras de box-corer también se detectaron restos subfósiles de valvas del bivalvo *Lucinoma asapheus*, así como individuos de poliquetos frenulados (*Siboglinum* sp.).

### 4.3 Comunidades bentónicas y tipos de sustrato

En la cima de VF Gazul se han detectado campos de pennatuláceos de baja densidad que colonizan los sedimentos de tipo fango arenoso. En el flanco N y NO, el sustrato duro está principalmente colonizado por CAF vivos (*Madrepora oculata*, *Lophelia pertusa*) y varias especies de gorgonias y corales negros (antipatarios). En la depresión del SO, los sedimentos son mas groseros y están compuestos por arena y grava, predominando los corales solitarios (*Flabellum chunii*) y los equinoideos (*Cidaris cidaris*). La biodiversidad y biomasa en el VF son mucho mayores que en la depresión y zonas adyacentes.





## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La velocidad de la corriente en el entorno del VF Gazul es alta ( $0,21-0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Díaz del Río *et al.*, 2014) y predominan los procesos erosivos. Las depresiones, grandes y alargadas, ponen de manifiesto el efecto erosivo de las corrientes de fondo y los perfiles sísmicos de alta resolución, muestran un reflector sísmico de alta amplitud generado por la falta de sedimentos no consolidados que las rellenen. Las muestras obtenidas en estas depresiones indican que los altos valores de reflectividad corresponden a carbonatos autigénicos. Las chimeneas y los enlosados, que se forman en el interior de los sedimentos, son exhumados como consecuencia del fuerte efecto erosivo de la corriente de fondo (Magalhães *et al.*, 2012). Una vez expuestas, las chimeneas pueden perder estabilidad y caer sobre la superficie del fondo ya que es frecuente encontrar fragmentos dispersos favoreciendo el asentamiento de organismos suspensívoros sésiles de lento crecimiento (SSCL) (p.ej. antipatarios), cuya abundancia se ve favorecida por el fuerte hidrodinamismo de la zona, que promueve una disponibilidad de partículas continua como fuente de alimento.

Las difracciones observadas en los reflectores superficiales de los perfiles sísmicos de alta resolución en los montículos son similares a las descritas en los montículos carbonatados del margen continental marroquí (Foubert & Henriët, 2009). En la actualidad apenas se han detectado arrecifes de CAF en el GdC, excepto en áreas específicas cerca de la cima de Gazul, pero todas estas evidencias apoyan la idea de que los montículos situados al oeste del edificio volcánico tienen un origen carbonatado o son estructuras biogénicas similares, en las que los carbonatos autigénicos actúan como sustrato duro que promueven hábitats formados por SSCL. Las chimeneas y los enlosados localizados a lo largo de los flancos, están dominados por comunidades bentónicas relacionadas con aguas productivas y con SSCL que persisten en zonas elevadas. La presencia de corrientes de alta velocidad facilita la distribución de nutrientes que favorece el desarrollo y el mantenimiento de estos hábitats formados por SSCL cerca de la cima.

La actividad y la dinámica de los VF pueden ser evaluadas a partir de distintos factores, incluyendo el espesor de los sedimentos hemipelágicos, que cubren las coladas de brecha fangosa, y la presencia de fauna típica de surgencias frías, que conforman las comunidades quimiosimbióticas de los sedimentos cargados en gas. Además, el desarrollo de las comunidades bentónicas asociadas a sustratos duros se relaciona con la presencia de carbonatos

autigénicos que son indicativos de expulsión de fluidos.

La capa de sedimentos hemipelágicos observada sobre las facies de brecha fangosa en la columna sedimentaria, podría apuntar al estado de actividad del VF. En general, cuanto mayor es el espesor de esta capa, el volcán tiene un comportamiento más inactivo, aunque se deben tener en cuenta otros factores como la tasa de acumulación sedimentaria en el área considerada.

La presencia de una fina capa de sedimentos hemipelágicos en la cima del VF Gazul, puede deberse al efecto de la corriente de fondo que impide la acumulación de sedimentos, a la vez que promueve la presencia de comunidades de SSCL en las zonas de sustrato duro. Los resultados obtenidos en este estudio, apuntan a que en la actualidad no existen evidencias de procesos activos de expulsión de fluidos en el VF Gazul.

### Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al grupo PAIDI de investigación RNM-328. Las actividades de D. Palomino han sido financiadas por el proyecto SUBVENT (CGL2012-39524-C02-01).

### REFERENCIAS

- Davies, T.A. & Laughton, A.S. (1972). Sedimentary processes in the North Atlantic. In: Laughton, A.S., Berggren, W.A. (Eds.) Init rep deep sea drilling project, vol. 12. US Government Printing Office, Washington, pp 905-934.
- Díaz del Río, V., Bruque, G., Fernández Salas, L.M. *et al.* (2014). Volcanes de fango del golfo de Cádiz, Proyecto LIFE+ INDEMARES, 1 – 128. Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid (España).
- Fernández Salas, L.M., Sánchez Leal, R., Rueda J.L. *et al.* (2012). Interacción entre las masas de agua, los relieves submarinos y la distribución de especies bentónicas en el talud continental del Golfo de Cádiz. *Geo-Temas*, 13, 198.
- Foubert, A. & Henriët, J.P. (2009). Nature and significance of the recent carbonate mound record. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 126.
- Magalhães, V.H., Pinheiro, L.M., Ivanov, M.K., *et al.* (2012). Formation processes of methane-derived authigenic carbonates from the Gulf of Cadiz. *Sedimentary Geology*, 243-244, 155–168.
- Milkov, A.V. (2000). Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. *Marine Geology*, 167, 29-42.
- Sánchez, R. & Relvas, P. (2003). Spring-summer climatological circulation in the upper layer in the region of Cape St. Vincent, Southwest Portugal. *ICES Journal of Marine Science*, 60, 1232–1250.
- Van Rooij, D., De Mol, L., Le Guilloux, E., *et al.* (2010). Influence of the Mediterranean Outflow Water on benthic ecosystems: answers and questions after a decade of observations. *Geo-Temas*, 11, 179-180.